

**다중 작업환경의 AGV 경로 선정과 충돌 회피에 관한 연구**

김 종 선, 유 영 선, 김 세 진, 주 영 훈  
 군산대학교 전자정보공학부

**A study on the AGV path determination and collision avoidance for multiple environment**

Jong Seon Kim, Yeong Seon Yu, Se Jin Kim, Young Hoon Joo  
 School of Electronic & information Engineering, Kunsan National University

**Abstract** - 본 논문은 AGVS(Automated Guide Vehicle System)가 여러 작업환경 및 변경 시 좀더 유연하게 대응할 수 있도록 작업환경 내에서 AGVS에 필요한 작업공간요소로 분류하고 이들을 모델링하는 방법을 제안하였다. 또한, 최단경로 생성 시 A\* 알고리즘에서의 평가함수 선정 방법과 최단경로 상에 존재하는 경로의 충돌 모델을 제안하였으며 시뮬레이션을 통해 제안한 방법을 증명하였다.

**1. 서 론**

물류자동화의 기술에서 빠질 수 없는 것이 바로 AGV이다. AGV는 작업 공간 내에서 이동시켜야 할 물류들을 자동으로 이동 시켜주는 이동로봇으로써, 1953년부터 사용되어지기 시작했다. 기술의 발전에 힘입은 FA(Factory Automation)의 가속화는 FMS(Flexible Manufacturing System) 및 FAS( Flexible Assembly System)를 추구하게 되었으며 이에 따른 다수의 AGV를 작업 공간 내에서 효율적으로 운영하기 위한 연구가 진행되기 시작했다 [1]. AGV의 최단경로(Minimum Cost Path 이하 MCP)를 선정하기 위한 많은 연구가 이루어졌으며 특히, MCP 선정 시에 발생하는 AGV의 충돌을 방지하기 위해 통제구역( Traffic Zone )을 다룬 연구들이 주류를 이루고 있다 [2-5]. 또한 MCP 생성의 연구에서는 이미 그 우수성이 증명된 평가함수를 이용하는 휴리스틱 탐색기법을 사용하고 있다[7]. 최근에는 양방향경로(Bidirectional Path)를 갖는 AGV의 MCP 및 충돌 및 교차 방지와 관련한 연구가 이루어지고 있으나 그 분석이 까다로운 현실이다[6].

본 논문은 양방향 경로에서의 MCP 생성과 충돌 및 교차에 대하여 작업 요소의 측면(경로, 작업장의 위치 등...)에서 접근하여 작업 환경 요소를 일반화 시키는 모델을 제안하고, 모델을 통하여 MCP의 생성과 MCP소비시간(Minimum Cost Path Time) 및 AGV의 이동거리 및 위치를 손쉽게 예측할 수 있음을 증명한다. 그리고, 마지막으로 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 적용 가능성을 보인다.

**2. 작업 환경 모델링과 AGVS**

FMS( 및 FAS의 주요 관심사중 하나는 제품을 생산하기 위한 각 공정단위로 제품을 얼마나 빠르게 이동시키느냐는 것이다. 더욱이 제품은 다수의 공정을 거쳐 완성이 됨은 물론, 공정라인의 종류도 다양하므로 공정 간의 물류이동은 더욱 찾아지게 된다. 따라서 AGVS는 FA로부터 요청된 공정간 물류이동의 복잡함(경로 및 작업소의 위치)을 분석하고 AGV를 충돌 없이 요청된 작업소로 최단시간에 이동시키기 위한 시스템이다.

**2.1 작업 환경의 모델링**

작업환경을 AGVS가 지나야할 기능으로 살펴봄으로써 작업환경요소를 분류하고 이에 대한 요소의 모델을 제안한다.

**2.2.1 AGVS의 기능과 작업환경 요소**

작업환경의 요소를 AGVS가 지나야할 기능으로서 살펴 보기 위해 먼저 AGV가 지나야하는 기능을 다음과 같이 3가지로 축약한다..

1. AGVS가 적용된 작업 환경 내에서 작업소의 요청에 따라 AGV의 MCP를 생성한다.
2. 각 AGV를 이동경로 상에서의 충돌이 발생하기 이전에 이를 예측하고 충돌을 회피하도록 유도한다.
3. 모든 AGV와 통신하며 정보를 송수신하여 AGV의 상태를 관리 및 감독한다.

이와 같은 AGVS의 기능을 구현하기 위한 작업환경의 요소로써 경로, 작업소, 통제구역, AGV로 분류할 수 있다. MCP를 생성하기 위해서는 작업을 요청한 작업소의 위치정보와 경로의 정보가 필요하며 운행 중인 AGV 상호간의 충돌을 방지하기 위해서도 경로의 정보가 필요하며 경로가 서로 교차하는 지점 즉, 통제구역의 정보역시 필요하다. 또한, AGV

를 실시간으로 운행하며 관리할 수 있는 무선통신의 프로토콜이 요구되나, AGV의 관리는 작업환경의 요소라고 하기 보다는 작업 환경 내에서 통제되어야 할 대상이기 때문에 환경요소의 분류에서는 제외되어야 한다.

분류된 작업환경의 요소는 AGVS의 데이터베이스로 만들기 위해 각각의 고유 ID, 작업공간상에서의 위치, 거리, 명칭전환점(check point) 등의 정보를 추가로 지녀야 하며, 작업환경의 변경 시 이를 수정 가능케 하여 작업환경의 변화에 유연하게 적용할 수 있어야 한다.

**2.2.2 제안된 작업환경 모델**

분류된 작업환경의 요소는 그림 1과 같이 집합의 요소로써 표현될 수 있으며, 표현된 요소는 AGVS 프로그램의 구현 시 구조체의 구성의 뼈대가 된다.

	ID	Position	Check point	Length	Property
Path	$P_{i1}$	$P_i = (Type, pos_1, pos_2)$	$P_0 = \{CP_1, CP_2\}$	$P_4 = (length)$	$P_5$
Station	Working	$WS_{j1}$	$WS_{j2} = (Type, pos)$	$WS_{j4} = (Type, len_1, len_2)$	$WS_{j5}$
	Waiting	$WA_{k1}$	$WA_{k2} = (Type, pos)$	$WA_{k4} = (Type, len_1, len_2)$	$WA_{k5}$
	Charging	$WC_{l1}$	$WC_{l2} = (Type, pos)$	$WC_{l4} = (Type, len_1, len_2)$	$WC_{l5}$
Repair	$WR_{m1}$	$WR_{m2} = (Type, pos)$	$WR_{m3} = (CP)$	$WR_{m4} = (Type, len_1, len_2)$	$WR_{m5}$
	$WR_{n1}$	$WR_{n2} = (pos)$		$WR_{n4} = (zone-length)$	$WR_{n5} = (Junction-Type)$
Traffic zone	$TZ_{d1}$			$TZ_{d2} = (zone-length)$	$TZ_{d5}$

그림 1. 작업 환경 요소의 모델

입력된 모든 작업환경요소에 대한 표현은 아래와 같이 각 요소가 지닌 특성들의 집합들로서 표시된다. 하나의 경로입력에 대한 정보는  $P_i$ 로서

$P_i = \sum_{\beta=1}^5 P_{i\beta}$ 로 표현되며  $\alpha$ 개의 경로 입력  $P_i$ 는 식 (1)과 같다.

$$P_i = \sum_{i=1}^{\alpha} \left( \sum_{\beta=1}^5 P_{i\beta} \right) \tag{1}$$

작업소에 대한 표현(1)은 이들이 같은 요소들을 취하기 때문에 하나의 통합된 집합  $W_i$ 로 표현 가능하며,  $\psi$ 개(총 작업소)의 입력에 대한 작업소  $W_i$ 는 식 (2), 통제 구역  $\sigma$ 는 식 (3)과 같다.

$$W_i = \sum_{i=1}^{\psi} W_i = \sum_{i=1}^{\psi} \left( \sum_{\beta=1}^5 W_{i\beta} \right) \tag{2}$$

$$TZ_i = \sum_{i=1}^{\sigma} TZ_i = \sum_{i=1}^{\sigma} \left( \sum_{\beta=1}^5 TZ_{i\beta} \right) \tag{3}$$

**2.3 모델을 통해서 본 최단 경로와 충돌 예측**

**2.3.1 최단 경로(MCP)**

MCP생성을 위한 기법으로 휴리스틱 탐색 기법인 A\* 알고리즘을 선택하였다[7]. A\* 알고리즘은 평가함수(evaluate function)를 사용하기 때문에 생성된 MCP가 항상 과소평가하도록 경로를 생성한다. A\* 알고리즘의 최적성은 조건에 따라 다르지만, 보통 \*허용성의 가장아래 최적의 해를 가지는 것으로 본다.

[\*허용성:  $\hat{h}(n)$ 은 실제 최단 거리  $h(n)$ 과  $\hat{h}(n) \leq h(n)$ 의 조건을 만족] A\*알고리즘은 임의의 노드 n에 대해 (4)와 같은 평가함수를 갖는다.

$$f(n) = g(n) + \hat{h}(n) \tag{4}$$

$f(n)$ : 평가함수  
 $g(n)$ : 시작노드에서 n노드까지의 최단거리  
 $\hat{h}(n)$ : n노드에서 목표노드까지의 추정치

본 논문에서는 목표노드 상에서 작업을 요청한 작업소의 위치를  $w$ 라 하고, 휴리스틱 함수  $\hat{h}(n)$ 을  $\hat{h}(n) = \sqrt{(w-n)^2}$  로서 정의한다. 즉, 탐색중인 현재 노드 n에서 평가함수  $f(n)$ 이 갖는 추정치이다.

이를 모델링 하면,  $\hat{h}(n) = \sqrt{(W_{\beta 2} - TZ_{n2})^2}$  이며,  $W_{\beta 2}$ 는 작업소의 위치(=w)이다. 또한,  $W_{\beta 2}$ 는 속해있는 경로의 양 끝이 아닌 지점에 위치하고 A\* 알고리즘은  $W_{\beta 2}$ 가 속해있는 통제구역(TZ)을 찾는다. 따라서

$\hat{h}(n)$ 은  $W_{\delta 4}$ (경로의 양쪽 끝에서 떨어진 거리)만큼의 여유를 갖기 때문에 허용성의 가정을 항상 만족한다. 생성된 MCP는 다음과 같이 식(5)로 표현된다. 또한 거리는 경로집합 요소의 표현으로 식(6)과 같이 된다.

$$\text{경로집합} : MCP_a = \{P_{a,2AGVPOS}, P_{a,2}, P_{a,3}, \dots, P_{a,m}, W_{\delta 1}\} \quad (5)$$

$$\text{총 거리} : D = \sum_{a=2}^m MCP_a + W_{\delta 4} + P_{a,4AGVPOS} \quad (6)$$

여기서,  $W_{\delta 1}$ 는 위치  $w$ 인 경로  $P_{a,m}$  상의 작업소 위치

$W_{\delta 4}$ 는 위치  $w$ 인 경로  $P_{a,m}$  상의 작업소 거리

$P_{a,2AGVPOS}$ 는 경로  $P_{a,1}$ 에서 떨어진 위치

$P_{a,4AGVPOS}$ 는 경로  $P_{a,1}$ 으로부터 떨어진 거리이다.

### 2.3.1 충돌 예측

선택된 MCP에 AGV의 이동속도와 이동방향을 찾은 뒤 이를 시간에 대한 함수로 표현하면 AGV의 시간에 따른 작업 공간상의 실제 위치를 추적할 수 있다. 따라서 시간을 가속시킨다면 AGV가 서로 같은 경로에 서로 반대방향으로 진입하거나(정면충돌), 통제구역을 동시에 점유하여 발생하는 AGV의 충돌을 예측할 수 있다. 주어진 MCP의 집합에서 시간에 대한 AGV의 위치를 나타내기 위해서는 먼저 AGV의 속도와 가속도 및 통제구역의 거리(AGV의 방향 전환을 위한 감속구간)를 정의할 필요가 있으며 이를 표 1에 나타내었다.

표 1. AGV의 속도 및 가속도 정의

$v(t)$	AGV가 직선 구간을 이동할 때의 평균 속도
$\alpha(t)$	정지 후 출발 시 평균가속도
$\beta(t)$	운행 중 정지시의 평균 가속도
$\gamma(t)$	방향 전환 시의 감속 운전 시 평균속도
$d$	통제 구역의 거리

$m$ 개의 경로집합을 갖는 MCP는 다음과 같이 목표지점까지 이동하는 데 있어서 충돌의 회피를 고려하지 않은 시간  $t$ 를 알 수 있다.  $t$ 는 경로특성에 따라 다음과 같이  $t_1, t_2, t_3$ 로 나눌 수 있다.

$$t_1 = \frac{v}{\alpha} + \frac{P_{14AGVPOS} - dn_0 - \frac{v^2}{2a}}{v} + \frac{dn_0}{r} \quad (7)$$

$$t_2 = \frac{\sum_{a=2}^m (MCP_a) - 2dn_1}{v} + \frac{2dn_2}{r} \quad (8)$$

$$t_3 = \frac{W_{\delta 4} - dn_3 - \frac{v^2}{2\beta}}{v} + \frac{dn_3}{r} + \frac{v}{\beta} \quad (9)$$

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

( 단,  $\forall n_i = \{1, 0\}$ ,  $m = i + 1$ 로써 통제구역에서의 방향 전환 여부)

또한, 최단 경로 MCP는 시간에 대한 이동거리함수  $D(t)$ 로써 나타낼 수 있다.  $D(t)$ 역시 시간  $t$ 의 특성에 따른  $D_1, D_2, D_3$ 로써 표현된다. 여기서,  $D(t)$ 의 전체함수를 사용하게 되면 프로그램의 구현 시 매우 복잡함을 요구하므로 시간  $t$ 를 구간마다 0으로 천이시키면서 이동거리의 함수를 다음과 같이 나타내었다.

$$D = D_1 + D_2 + D_3 \quad (10)$$

$$D_{11} : 0 \leq t_{11} < \frac{v}{\alpha} \quad : D(t) = \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (11)$$

$$D_{12} : 0 \leq t_{12} < \frac{P_{14AGVPOS} - dn_0 - \frac{v^2}{2a}}{v} \quad : D(t) = vt \quad (12)$$

$$D_{13} : 0 \leq t_{13} < \frac{dn_0}{\gamma} \quad : D(t) = \gamma t \quad (13)$$

$$D_{21} : 0 \leq t_{21} < \frac{dn_0}{\gamma} \quad : D(t) = \gamma t$$

$$D_{22} : 0 \leq t_{22} < \frac{MCP_{25} - dn_0 - dn_1}{v} \quad : D(t) = vt$$

$$D_{23} : 0 \leq t_{23} < \frac{dn_1}{\gamma} \quad : D(t) = \gamma t$$

$\vdots$   $\vdots$   $\vdots$

$$D_{2(m \times 3 - 2)} : 0 \leq t_{2(m \times 3 - 2)} < \frac{dn_{i-1}}{\gamma} \quad : D(t) = \gamma t \quad (14)$$

$$D_{2(m \times 3 - 1)} : 0 \leq t_{2(m \times 3 - 1)} < \frac{MCP_{m1} + dn_{i-1} + dn_i}{v} \quad : D(t) = vt \quad (15)$$

$$D_{2(m \times 3)} : 0 \leq t_{2(m \times 3)} < \frac{dn_i}{\gamma} \quad : D(t) = \gamma t \quad (16)$$

$$D_{31} : 0 \leq t_{31} < \frac{dn_i}{\gamma} \quad : D(t) = \gamma t \quad (17)$$

$$D_{32} : 0 \leq t_{32} < \frac{W_{\delta 4} - dn_i - \frac{v^2}{2\beta}}{v} \quad : D(t) = vt \quad (18)$$

$$D_{33} : 0 \leq t_{33} < \frac{v}{\beta} \quad : D(t) = \frac{1}{2} \beta t^2 \quad (19)$$

이와 같이 표시된 이동함수를 이용하여 AGV의  $t$ 에 대한 이동 거리 및 위치를 생성할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 및 고찰

그림 2는 시뮬레이션에 쓰일 데이터를 직접 캡처 한 것으로써 작업환경은 총 49개의 경로( $P_i$ )와 34개의 정점( $TZ$ )을 갖으며, 10개의 MCP에 대한 정점5개( $i-1$ )와 경로 6(i)개를 갖는다.

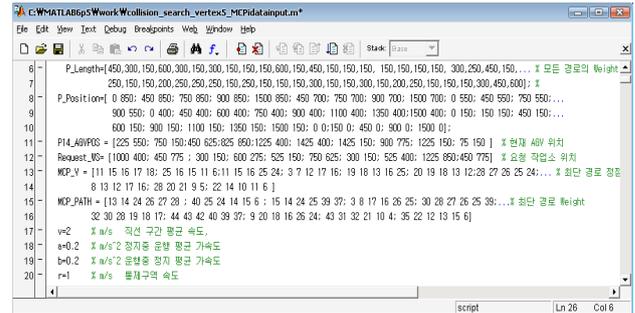


그림 2. 작업 환경 데이터 및 최단경로

### 3.2 MCP의 소비 시간 및 프로그램 구현

실험에서 주어진 데이터를 통해 모델을 MCP의 경로별 시간 소비 시간을 그림 3과 같이 얻을 수 있었다.

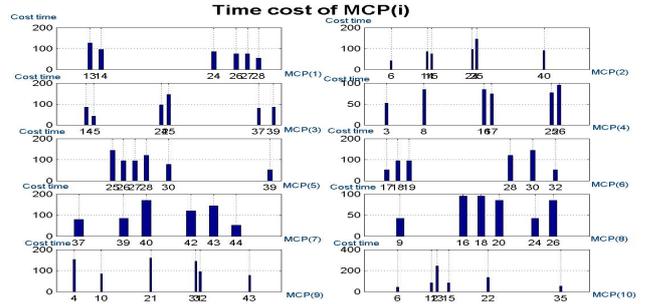


그림 3. 경로 별 소비 시간

### 4. 결론

본 논문은 AGVS가 여러 작업환경 및 변경 시 좀 더 유연하게 대응할 수 있도록 작업환경 내에서 AGVS에 필요한 작업공간요소로 분류하고 이들을 모델링하는 방법과 최단경로 생성 시 A\* 알고리즘에서의 평가함수 선정 방법과 최단경로 상에 존재하는 경로의 충돌 모델을 제안하였다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 제안한 방법을 증명하였다.

### [참고 문헌]

- [1] A. Kannewurf, "Automatic Guidance Systems", National Material Handling Forum, Material Handling Classics, 1980
- [2] Ho TC, "A dynamic-zone strategy for vehicle-collision prevention and load balancing in and AGV system with a single-loop guide path", Comput Ind 2000, 42:159-79, 2000
- [3] Ayoub Insa Correa, "Scheduling and routing of automated guided vehicles : A hybrid", Computers & Operations Research, 34, 1688-1707, 2005
- [4] S. Arora, A.K. Raina, A.K. Mittel, Hybrid control in automated guided vehicle systems", in : Proceeding of 2001 IEEE Intelligent Transportation System, pp.380-384, 2001
- [5] Kim SH, Hwang H. An adaptive dispatching algorithm for automated guided vehicles based on an evolutionary process. Int JProd Econ 1999, 60(61), 1999
- [6] Ardavan Asef-Vaziri, Marc Goetschalckx, "Dual Track and Segmented Single Track Bidirectional Loop Guidepath Layout for AGV Systems", European Journal of Operational Research, 2006
- [7] YVES CASEAU, "Heuristics for Large Constrained Vehicle Routing Problems", Journal of Heuristics, 5, 281-303, 1999